

Для построения математических моделей метауровня широко используют методы теории автоматического управления, методы планирования эксперимента, математическую логику, теорию массового обслуживания.

#### Список использованных источников

1. Алексанкин А. Я., Бржозовский А. Э., Жданов В. А. [и др.] Автоматизированное проектирование систем автоматического управления / под ред. В. В. Солодовникова. М. : Машиностроение, 1990. 332 с.
2. Сольницев Р. И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления. М. : Высшая школа, 1991. 335 с.
3. Норенков И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем: учеб. пособие для втузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1986. 304 с.
4. Сидоров Д. В., Гаврина О. А. Анализ методологических аспектов математического моделирования динамики сложных технологических объектов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы двенадцатой Всерос. науч.-практ. конф. Т. II. Старый Оскол : СТИ НИТУ МИСиС, 2015. 400 с.

УДК 662.76

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПГУ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ

### EFFICIENCY ANALYSIS OF THE IGCC

Смирнов А. И., Богатова Т. Ф., Осипов П. В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, tes@mail.ru

Smirnov A. I., Bogatova T. F., Osipov P. V.

Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** ПГУ с внутрицикловой газификацией является коммерческой технологией с высокой эффективностью при использовании различных типов топлив. Дальнейшее улучшение экономичности и снижения выбросов являются важнейшими задачами производства энергии. Рассмотрены и смоделированы с использованием Aspen Plus различные методы повышения эффективности. Проанализированы эксплуатационные условия и интеграционные процессы.

**Abstract:** Integrated gasification combined cycle (IGCC) is a commercial used power generation system with high efficiencies for a variety of feedstocks. Further improvement of its efficiency and thereby lowering emissions are important tasks to achieve a more sustainable energy production. Different methods are considered and

simulated using Aspen Plus to improve IGCC's efficiency performance through an analysis of the operating conditions, together with process integration studies.

**Ключевые слова:** ПГУ-ВЦГ; поточный газификатор; интеграция.

**Key words:** IGCC; entrained-flow gasifier; integration process.

ПГУ с внутрицикловой газификацией угля (ПГУ-ВЦГ) являются альтернативой традиционному паросиловому циклу и характеризуются высокой степенью адаптивности к качеству топлива, низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  и  $\text{CO}_2$  и высоким КПД по сравнению с традиционной угольной ТЭС.

На эффективность ПГУ-ВЦГ влияет ряд факторов: технология газификации угля, характеристики угля, способ его подачи в газификатор, принятые в технологической схеме решения. Наиболее распространенными в настоящее время являются поточные газификаторы, они составляют около 80% всех газификационных мощностей в мире. Для анализа влияния различных факторов и оптимизации цикла используется метод моделирования, в частности в программном комплексе Aspen Plus® [1, 2]. Важную роль играют принятые в технологической схеме ПГУ-ВЦГ технические решения. Анализ влияния интеграционных связей на эффективность ПГУ на базе поточного газификатора *Texasco* с подачей топлива в виде ВУС выполнен с помощью моделирования в Aspen Plus в [3].

Результаты анализа показали, что совместное влияние доли азота, подаваемого из воздуходелительной установки (ВРУ) в камеру сгорания (КС), и температуры в КС газовой турбины (ГТ) приводит к увеличению термического КПД ПГУ  $\eta_t$ , рис. 1. Интеграция ВРУ и ГТ по азоту позволяет увеличить мощность ГТ за счет увеличения массового потока продуктов сгорания через нее и снизить выход  $\text{NO}_x$  за счет разбавления продуктов сгорания азотом.

Проанализирована также интеграция по теплу газификатора и КС ГТ. Поскольку процесс газификации эндотермический, то необходимую для его поддержания теплоту в базовом варианте получают за счет полного сжигания части угля, что снижает эффективность процесса. При интеграции недостающую теплоту получают из КС. Уменьшение отношения  $\text{O}_2:\text{C}$  приводит к росту химического КПД  $\eta_x$  при увеличении степени интеграции до определенного уровня, рис. 2.

Дальнейшее уменьшение  $\text{O}_2:\text{C}$  приводит к снижению степени конверсии углерода и, соответственно, к снижению  $\eta_x$  газификатора и  $\eta_t$ . Необходимый расход воздуха в КС также снижается с ростом интеграционной тепловой нагрузки, так как для поддержания температуры в КС необходимо минимизировать количество теплоты, идущей на нагрев избыточного воздуха. Оптимальное значение уровня интеграции в рассмотренном случае составило около 200 МВт, рис. 3.

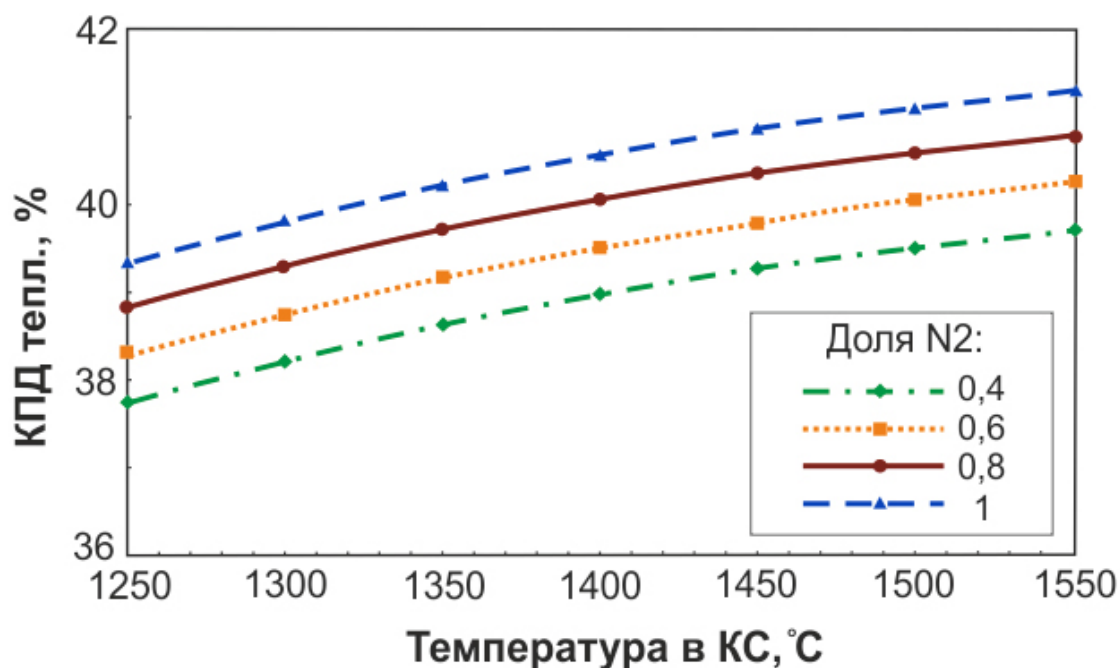


Рис. 1. Влияние доли вводимого в КС азота и температуры в КС ГТ на термический КПД

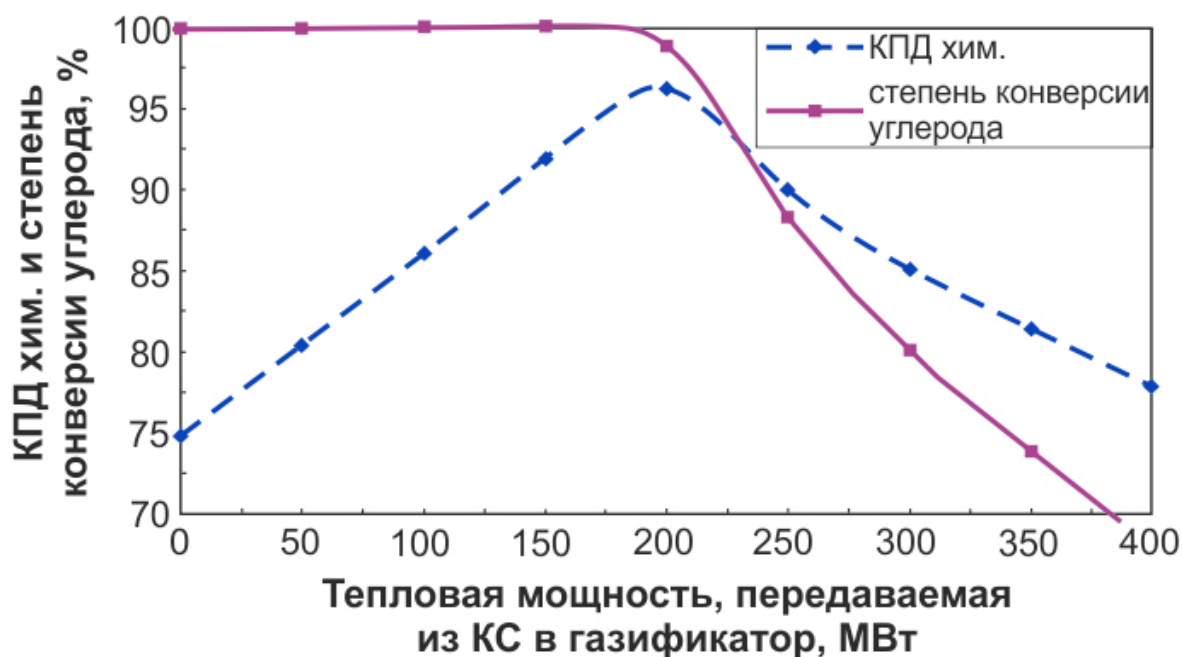


Рис. 2. Влияние интеграции КС ГТ и газификатора на КПД хим. газификатора и степень конверсии углерода

Еще одной линией является интеграция ВРУ и системы газоочистки. В этом случае поток кислорода из ВРУ нагревается в конденсаторе установки регенерации амина, что позволяет снизить потребление  $O_2$  и, соответственно, уменьшить расход энергии для сжатия кислорода и воздуха.

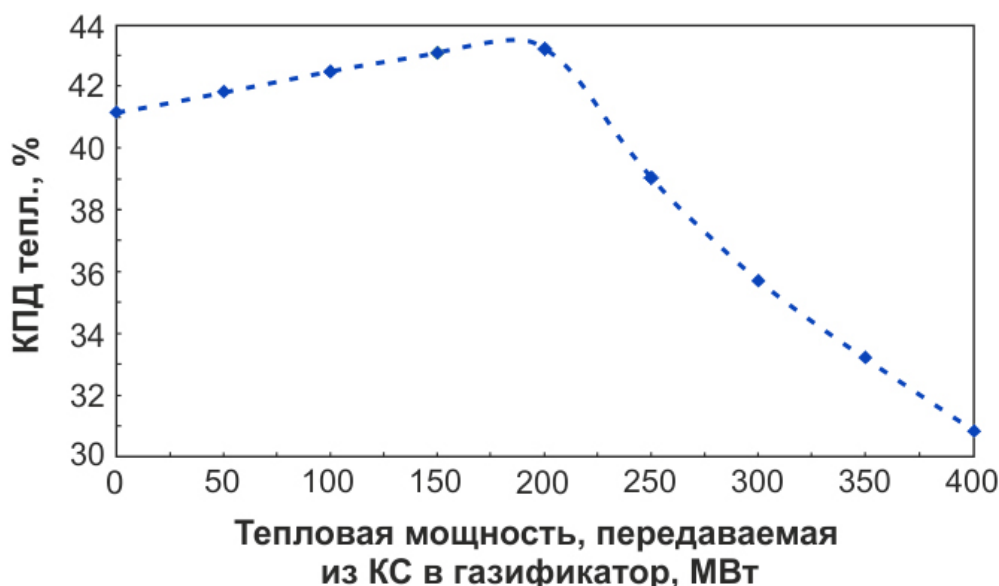


Рис. 3. Влияние интеграции КС ГТ и газификатора на термический КПД ПГУ

Применение в поточных газификаторах сухой топливоподачи обеспечивает более высокую степень конверсии (99-99,5%), КПД хим. (78-82%),  $Q_i^r$  получаемого синтез-газа (10,5-11,5 МДж/м<sup>3</sup>) [4]. Результаты моделирования в Aspen Plus [5] ПГУ-ВЦГ с поточными газификаторами *Shell* и *Texaco*, приведенные в таблице, показывают, что ПГУ с газификаторами типа *Shell* с сухой топливоподачей имеют более высокий КПД.

Сравнение характеристик ПГУ-ВЦГ с газификаторами *Shell* и *Texaco*  
(состав угля  $C^r = 37,3\%$ ,  $A^r = 13,3\%$ ,  $W^r = 18,6\%$ ,  $V^r = 30,8\%$ )

	<i>Shell</i>	<i>Texaco</i>
Тип топливоподачи	сухая	в виде ВУС
Температура газификации, °С	1800-2000	1250-1550
Давление, МПа	3,0	4,1
Состав синтез-газа (СО+Н <sub>2</sub> )	92,6	84,4
Теплота сгорания синтез-газа $Q_i^r$ , МДж/м <sup>3</sup>	11,03	8,81
Мощность $N_{бр}/N_{нетто}$ , МВт	321,3/273,4	333,3/287
КПД, %	42,22	40,83

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

#### Список использованных источников

1. Perez-Fortes M., Bojarski A. D., Velo E., Nougue's J. M., Puigjaner L. Conceptual model and evaluation of generated power and emissions in an IGCC plant // Energy. 2009. № 34.
2. Sahraeia M. H., McCalden D., Hughes R., Ricardez-Sandoval L.A. A survey on current advanced IGCC power plant technologies, sensors and control systems // Fuel. 2014. № 137.

3. Emun F., Gadalla M., Majozi T., Boer D. Integrated gasification combined cycle (IGCC) process simulation and optimization // Computers and Chemical Engineering. 2010. № 34.
4. Рыжков А. Ф., Богатова Т. Ф., Цзэн Линянь, Осипов П. В. Развитие поточных газификационных технологий в Азиатско-Тихоокеанском регионе (обзор) // Теплоэнергетика. 2016. № 11. С. 1–12.
5. Zheng L., Furinsky E. Comparison of Shell, Texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulations // Energy Conversion and Management. 2005. № 46.

УДК 697.133

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

## BUILDING ENERGY EFFICIENCY BY REDUCING THE MOISTURE CONTENT FENCING STRUCTURES

Смолина Т. С.

Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск,  
olgamezhenina@mail.ru

Smolina T. S.

South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk

**Аннотация:** В работе изложены результаты анализа влияния изменения влагосодержания материалов ограждающих конструкций в процессе эксплуатации зданий, их влияние на качественные характеристики. Приведены возможные способы уменьшения этого влияния.

**Abstract:** The paper is set out on the impact of changes in the moisture content of materials of protecting designs in the operation of buildings and their impact on the quality characteristics. The possible ways to reduce this influence are presented in the paper.

**Ключевые слова:** энергосбережение; влагосодержание; ограждающие конструкции; теплоснабжение.

**Keywords:** energy efficiency; water content; building envelope; heating.

Жилищный фонд России превышает 2,6 млрд кв. м общей площади. Значительная часть домов уже нуждается в капитальном ремонте и переоборудовании коммунальных систем. Дома старой постройки требуют большого количества затрат на теплоснабжение, чтобы поддержать